

Разряды в жидких и твердых диэлектриках. Электрические характеристики внутренней ИЗОЛЯЦИИ

Электрическая прочность жидкого диэлектрика и твердого значительно выше чем у воздуха, что позволяет существенно уменьшить изоляционные расстояния и габариты оборудования – трансформаторы, кабели, силовые конденсаторы, выключатели

Требования к изоляционным конструкциям высокого напряжения: надежность, компактность, механическая прочность, тепловая устойчивость, возможность контроля состояния и восстановления изоляции во время ремонта, приемлемая стоимость

Требования к изоляционным конструкциям реализуются за счет использования комбинации твердых, жидких и газообразных изолирующих материалов в сочетании с мероприятиями по регулированию электрических полей

Типы комбинированных изоляционных конструкций: бумажно-масляная изоляция, масло –барьерная изоляция, высокопрочные газы под давлением

Пробой жидких диэлектриков

Классификация:

1. Углеводороды минеральные - продукты перегона нефти и каменного угля (трансформаторное, конденсаторное и другие масла) - неполярные
2. Углеводороды растительные – касторовое, льняное и др. масла
3. Хлорированные углеводороды – хлордифинил, совол
4. Кремнийорганические соединения - неполярные

Основные свойства жидких диэлектриков

Вид диэлектрика	ρ , Ом·см	ϵ	$\text{tg}\delta$
Неполярные	$\geq 10^{18}$	1,8–2,5	$\approx 0,001$
Слабополярные	$\approx 10^{11}-10^{12}$	$> 2,5$	$\approx 0,01$
Сильнополярные	$\approx 10^7-10^8$	> 5	$\approx 0,1$

Природа проводимости жидкого диэлектрика

1. Ионная проводимость – вследствие движения ионов в частично диссоциированной жидкости
2. Катафоретическая проводимость – вследствие перемещения заряженных частиц примесей (коллоидные частицы размером 70-1000 А)

изма трудно различимы $\gamma = \gamma_0 e^{a(t^{\circ}C - t_0^{\circ}C)}$

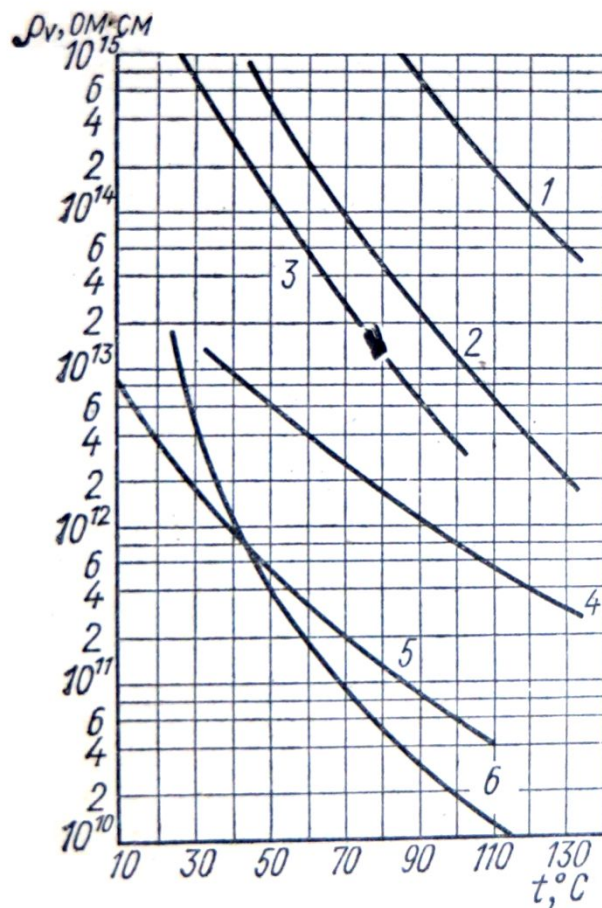
Аппроксимация для узкого диапазона температур

Для минерального масла $a=0.04-0.05$ 1/град

1- трансформаторное масло высокой очистки; 2- трансформаторное масло очищенное; 3- вазелиновое масло; 4- трансформаторное масло промышленное; 5- касторовое масло ; 6 - совол

Типовые примеси в трансформаторном масле:

Вода, газы, волокна целлюлозы, углерод, продукты разложения масла



3. Электронная проводимость.

Проявляется при высоких (предпробивных) значениях напряженности электрического поля $E > 100$ кВ/см

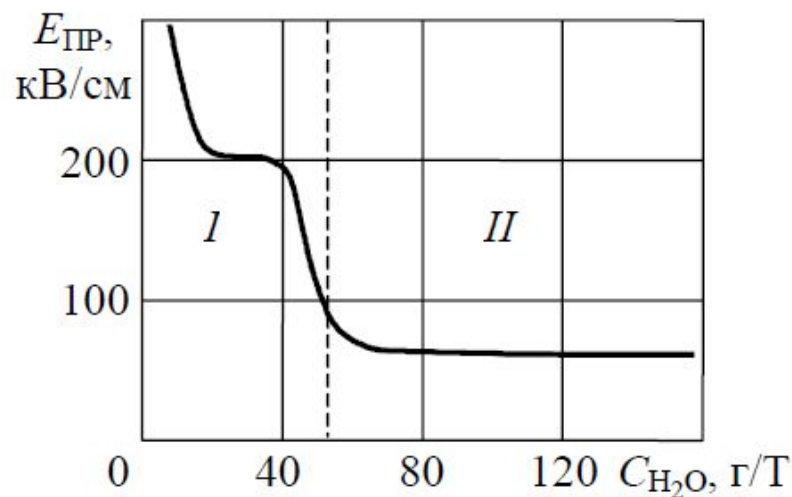
$$j_e = j_0 e^{cE}$$

Факторы, влияющие на электрическую прочность трансформаторного масла:

- 1) **Загрязнение и увлажнение.** При влагосодержании свыше 0.03 % электрическая прочность масла резко падает.
- 2). **Вязкость.** Уменьшение вязкости снижает электрическую прочность
- 3). **Температура (Т).** С ростом Т $U_{пр}$ – снижается
- 4). **Давление (Р).** С ростом Р $U_{пр}$ – растет
- 5). **Время действия напряжения ($t_{п}$).** $t_{п} \downarrow$ $U_{пр} \uparrow$. Для чистых жидкостей эффект выражен слабее.
- 6). **Форма электродов** (неоднородность электрического поля). $E_{max}/E_{ср} \uparrow$
 $U_{пр} \downarrow$
- 7). **Полярность криволинейного электрода .** $U_{пр} - \downarrow > U_{пр} + \downarrow$

Влияние влаги и микропримесей

Состояния влаги в масле: 1. молекулярный раствор 2. эмульсия (шарики 2-10 мкм) 3. водный отстой (на дне бака) формируется при содержании H_2O от 0.02 %. Растворимость влаги в масле растет с температурой. Капли влаги и волокна вытягиваются вдоль линий электрического поля, образуя мостики с относительно высокой проводимостью .

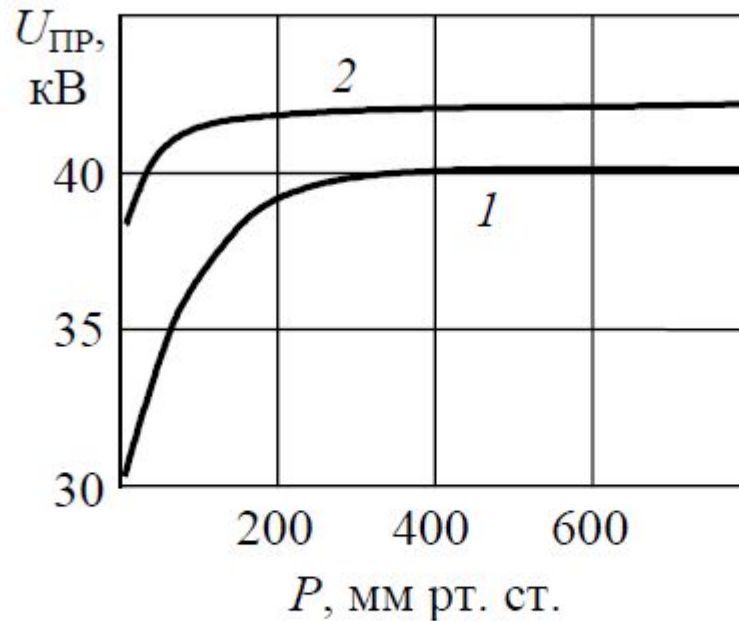


Зависимость электрической прочности трансформаторного масла от содержания влаги, C_{H_2O} (грамм/тонна):

I – зона растворимости влаги, *II* – эмульгированная влага

Влага и волокна слабо сказывается на импульсной прочности масла

Влияние давления



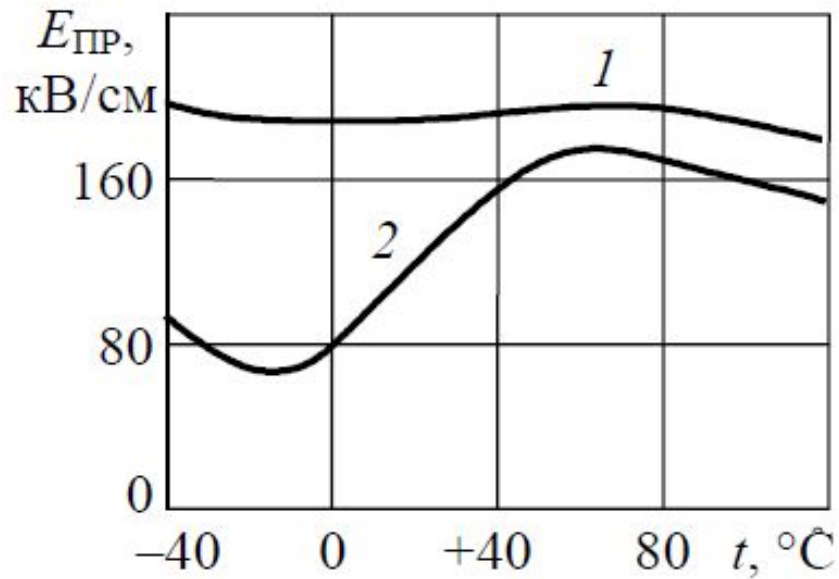
Зависимость пробивного напряжения трансформаторного масла от давления:

1 – недегазированное масло; 2 – дегазированное масло

Эффект давления – уменьшение концентрации и размера газовых пузырьков в масле

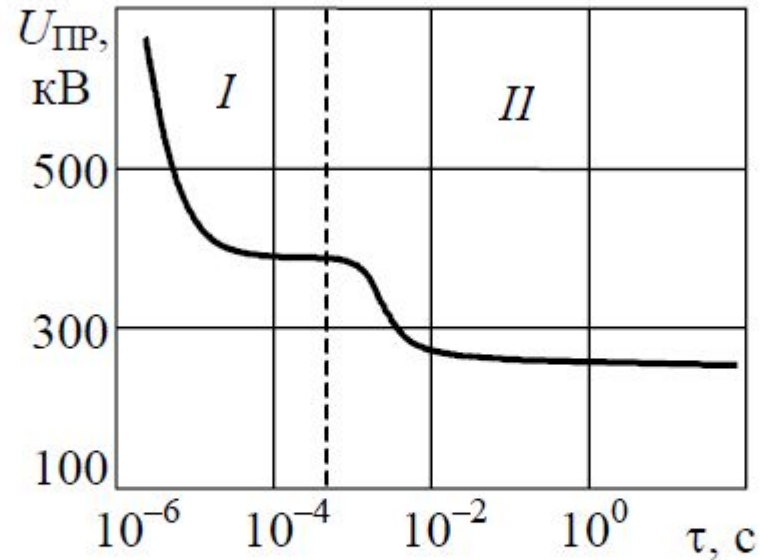
Давление мало влияет на импульсную прочность

Влияние температуры



Зависимость электрической прочности трансформаторного масла от температуры:
1 — сухое масло; 2 — техническое масло с примесью влаги

Влияние времени приложения напряжения



Зависимость пробивного напряжения от времени воздействия для трансформаторного масла. Электроды острие–плоскость; расстояние между электродами 20 см; положительная полярность напряжения

I – доминируют электрические механизмы пробоя

II – главная роль принадлежит тепловым процессам

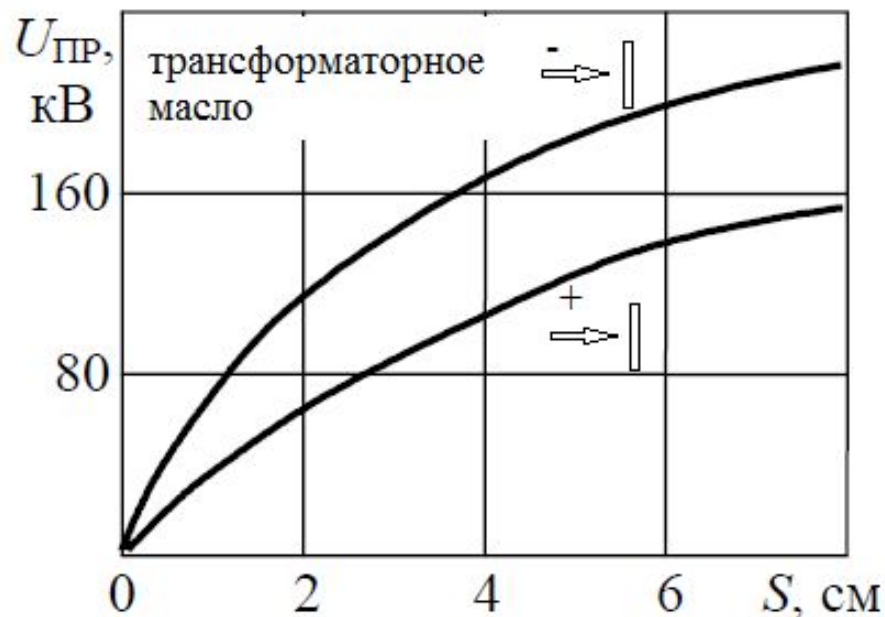
Влияние геометрических характеристик промежутка

Более сильное по сравнению с воздухом влияние радиуса кривизны криволинейного электрода

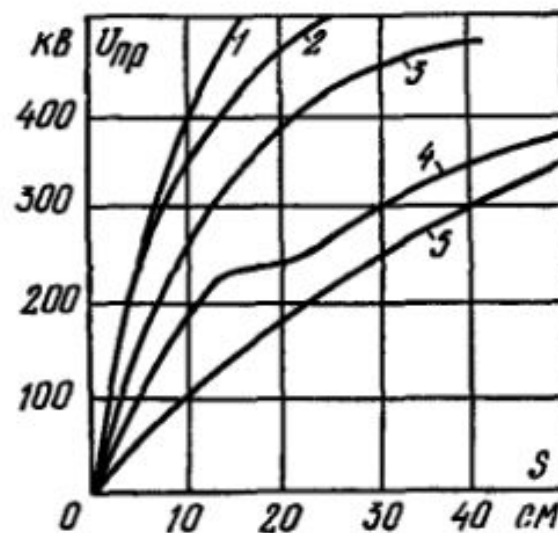
Площадь электродов Σ : $\Sigma \uparrow$ $U_{пр} \downarrow$

Объем жидкости v : $V \uparrow$ $U_{пр} \downarrow$

Влияние полярности в неоднородном поле



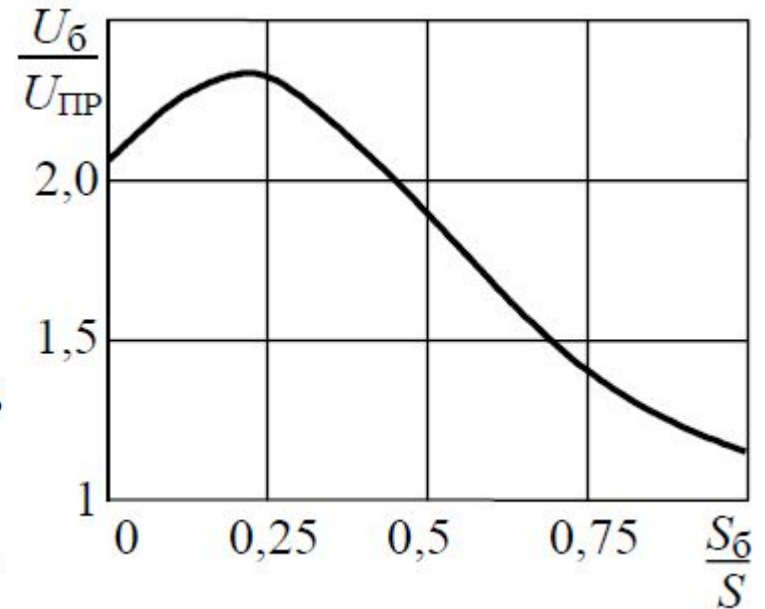
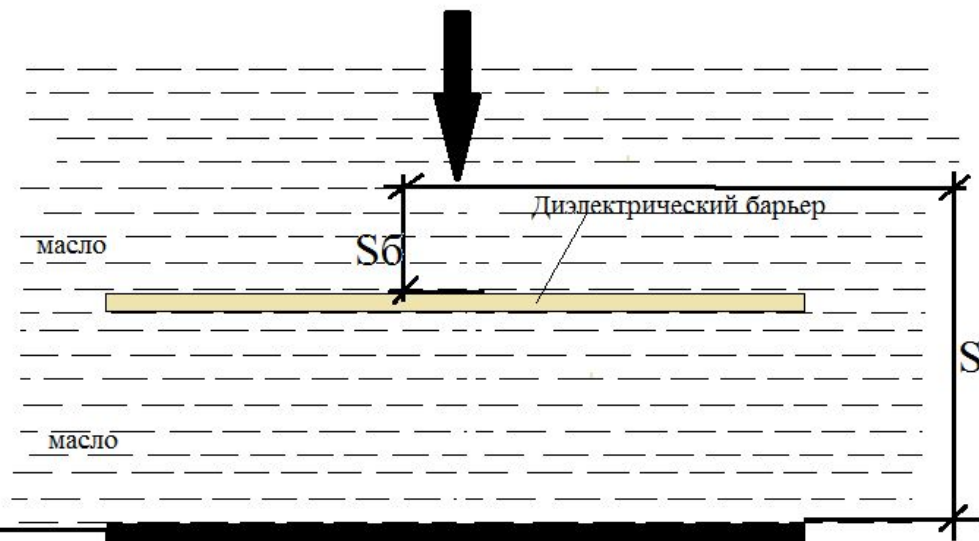
Влияние неоднородности поля электрическую прочность масла



Напряженье пробоя масляных промежутков шар — плоскость (кривые 1, 2, 3, 4 — соответственно для шаров диаметром 50, 25, 15 и 5 см) и стержень — плоскость (кривая 5).

Барьерный эффект

Диэлектрические барьеры (электрокартон): 1) адсорбируют на своей поверхности ионы, что способствует выравниванию распределения E в неоднородных полях 2) препятствуют образованию проводящих мостиков из примесей 3) влияние на импульсную прочность менее значительное по сравнению с напряжением промышленной частоты



$S=75$ мм, барьер 5 мм
электрокартон